

# 中国 GDP 增量与能源消费增量关系的多尺度分析

杜建丽, 林振山, 张真真, 张彦龙

(南京师范大学地理科学学院, 南京 210046)

**摘 要:** 能源是一个国家经济增长和社会发展的物质基础, 经济的发展和能源的利用有着密不可分的关系。本文用 EMD 方法首次对我国 GDP 增量和能源消费增量之间的关系进行比较分析, 以期从一个崭新的途径上来揭示 GDP 增量波动周期与能源消费增量波动周期的相互关系, 进而揭示 GDP 和能源消费之间的关系, 从而为社会经济的长远规划、能源发展战略以及有关政策法规的制定提供一定依据。研究结果表明: 我国 GDP 增量的波动周期为 4 年、11 年、18 年和 31 年; 能源消费增量的波动周期为 4 年、10 年、18 年和 27 年, 两者的波动周期基本吻合。将他们的 IMF 分量进行对比, 发现能源消费和 GDP 二者是相互依赖的, 这一结论符合经济学的理论, 能源的需求促进经济的发展, 而能源的发展要以经济增长为前提, 能源的短缺将制约经济的发展。因此, 千方百计增加能源供给, 提高能源利用效率, 是确保我国经济持续稳定发展的一项重要任务。

**关 键 词:** GDP 增量; 能源消费增量; EMD; IMF

能源是人类进步和发展的物质基础, 经济的增长以及经济发展水平的提高需要能源作支撑, 并要求提高能源的使用效率。经济的发展和能源的利用有着密不可分的关系。经济增长与能源消费之间的因果方向具有重大的政策含义: 如果存在从经济增长到能源消费的单向因果关系, 则这一经济是非能源依赖型经济, 因而节能政策的实施对经济增长的负面影响可能就很小<sup>[1]</sup>; 如果存在从能源消费到经济增长的单向因果关系, 则这一经济就是能源依赖型经济, 能源消费的降低可能会影响经济增长<sup>[2]</sup>; 如果经济增长与能源消费之间不存在因果关系, 那么经济增长与能源政策并没有什么必然的联系; 如果能源消费与经济增长之间存在双向因果关系, 那么, 该经济体是经济增长与能源消费互相依赖型的。正确认识和处理能源之间的关系, 对于社会经济的长远规划、能源发展战略以及有关政策法规的制定都是十分重要的。由此可见, 研究能源消费与经济增长之间的均衡关系具有重要的理论意义和实际意义。

学者们对经济增长与能源消费之间的关系已

作了大量的研究<sup>[3-7]</sup>, 其中有学者对 GDP 和能源消费量进行了单位根检验、协整检验和 Granger 因果关系检验<sup>[8-11]</sup>, 有的学者用一些数学方法推断二者之间的关系<sup>[12]</sup>。现有研究主要关注于 GDP 和能源消费总量。本文主要着眼于 GDP 增量和能源消费增量, 利用经验模态分解(EMD)方法, 首次对 GDP 增量和能源消费增量的关系进行比较分析, 以期揭示二者在不同时间尺度上的相关性, 从而为社会经济的长远规划、能源发展战略以及有关政策法规的制定提供一定依据。目前 EMD 方法已经成功应用于湍流、地震以及大气科学等非线性领域<sup>[13-16]</sup>, 可以预期在不远的将来该方法必将在更多的研究领域中发挥巨大的作用。

## 1 研究方法

EMD 方法是一种全新的非平稳数据序列处理方法, 该方法将时间信号  $X(t)$  分解成一系列本征模态函数(intrinsic mode function, IMF), 每个 IMF 分量具有如下特征: (1) 从全局特性上看极值点数必须

收稿日期: 2008-07; 修订日期: 2008-12.

基金项目: 教育部博士点基金项目(20060139010)。

作者简介: 杜建丽(1983-), 硕士, 主要从事第四纪研究。E-mail: djl789456@163.com

通讯作者: 林振山(1955-), 男, 博士, 教授, 博士生导师, 南京师范大学地理科学学院院长, 主要从事生态—环境—气候领域的研究, 已经发表国际 SCI 学术论文 40 多篇。E-mail: linzhenshan@njnu.edu.cn

和过零点数一致或者至多相差一个;(2)在某一个局部点极大值包络和极小值包络在该点的值的算术平均和是零。

对于时间序列  $f(t)$ , 倘若在某点  $t_0$  的邻域  $(t_0-\sigma, t_0+\sigma)$  上只有一个尺度为  $\sigma$  的波动, 这样  $f(t)$  的局部平均就可以表示为:

$$I_\sigma = \int_{t_0-\sigma}^{t_0+\sigma} f(t)dt$$

(1)

波动的一个周期内的对时间轴所围的面积为零, 这是相对于时间轴的对称性要求  $I_\sigma \rightarrow 0$ 。

经验模态分解提取 IMF 的过程就是一个逐级筛选的过程, 实质上是将原始特征序列分解为不同振动周期波动的叠加, 最后得到的每个 IMF 分量既可是线性的也可是非线性的。

令  $h_0=f(t)E_{\max}(h_0)$  和  $E_{\min}(h_0)$  分别是三次样条插值得到的极大值和极小值点的包络, 如果  $h_0$  不满足 IMF 条件, 令

$$h_1=h_0-\frac{E_{\max}(h_0)+E_{\min}(h_0)}{2}$$

(2)

即用  $h_0$  减去  $E_{\max}$  和  $E_{\min}$  的平均值得到  $h_1$ 。  
无论是各种数字滤波器的设计、小波变换方法

还是 EMD 方法都存在边界问题的处理。本文采用的边界处理方法是镜像对称延伸方法<sup>[15]</sup>, 该方法比较好地解决了边界对于 EMD 分解过程中的上冲和下冲现象。经济周期理论一般将经济运行的周期性波动划分为短周期、中周期、中长周期和长周期等四种类型。而多数研究从时间序列数据的直观变化中总结规律或作简单的数据平滑处理, 缺少严密的科学方法推导非平稳序列的数学模式, 蕴涵在非平稳序列中的多尺度变化规律难以发现。经济增长和能源消费增长过程是非线性、非稳定的, 因此可对两者的数据序列运用 EMD 软件进行处理以期发现不同时间尺度上的变化规律。

2 我国 GDP 增量和能源消费增量变化的 EMD 分析

图 1 是根据《中国统计年鉴》和《中国能源统计年鉴》以及统计局公布的数据得到的 1954~2006 年 GDP 增长量和能源消费增长量的序列。由图 1 可见改革开放以前能源消费增量波动明显而 GDP 增量

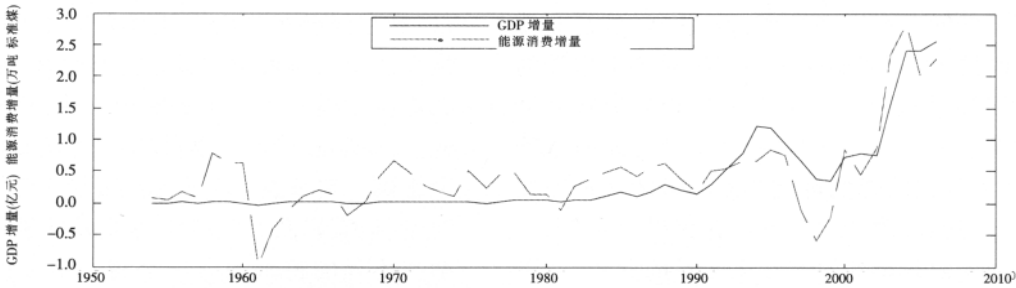


图 1 我国能源消费增长量和 GDP 增长量变化趋势  
Fig.1 Trend changing of the increase of GDP and energy consumption of China

几乎没有变化。改革开放以后两者都在波动中增长。从数据的直角坐标显示(图 1)几乎找不到什么规律, 既看不出两者变化的多时间尺度特征性, 也看不出周期变化在时间域中的分布情况, 因此必须对数据做必要的处理。

利用 EMD 运算软件对我国能源消费增量和 GDP 增量的数据序列分别进行分解, 各自得到 4 个 IMF 分量及其数据趋势分量 res(图 2、表 1、图 3、表 2), 各 IMF 分量表示不同尺度的变化, 每一个 IMF 分量只是一个窄波段的信号。虽然一个 IMF 分量可能包含不同尺度变化的信息, 但是同一个时间段不同 IMF 分量却不会包含同一个尺度的波动信号。

表 1 我国GDP 增长量变化的 Imf 分量的方差贡献率  
Tab.1 Variance contribution by IMF1-4 of change of the increase of GDP

Imf分量	Imf1	Imf2	Imf3	Imf4	res
周期 (年)	4	11	18	31	
方差贡献率 (%)	4.96	22.49	3.86	28.7	39.99

表 2 能源消费增长量变化的 Imf 分量的方差贡献率  
Tab.2 Variance contribution by IMF1-4 of change of the increase of energy consumption

Imf分量	Imf1	Imf2	Imf3	Imf4	res
周期 (年)	4	10	18	27	
方差贡献率 (%)	21.99	37.53	16.97	1.14	22.38

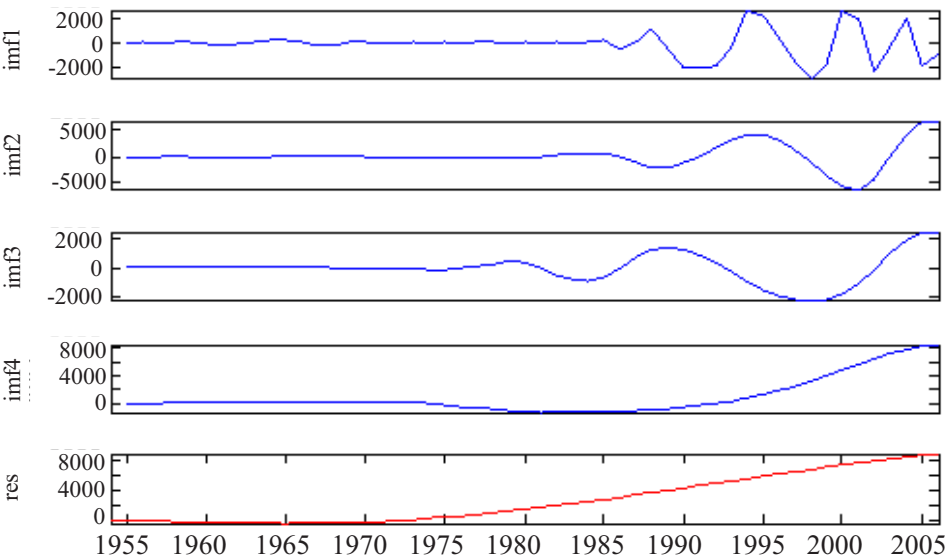


图 2 中国 GDP 增长量变化的 IMF 分量及其趋势量  
Fig.2 IMF and residual trend res of change of the increase of GDP in China

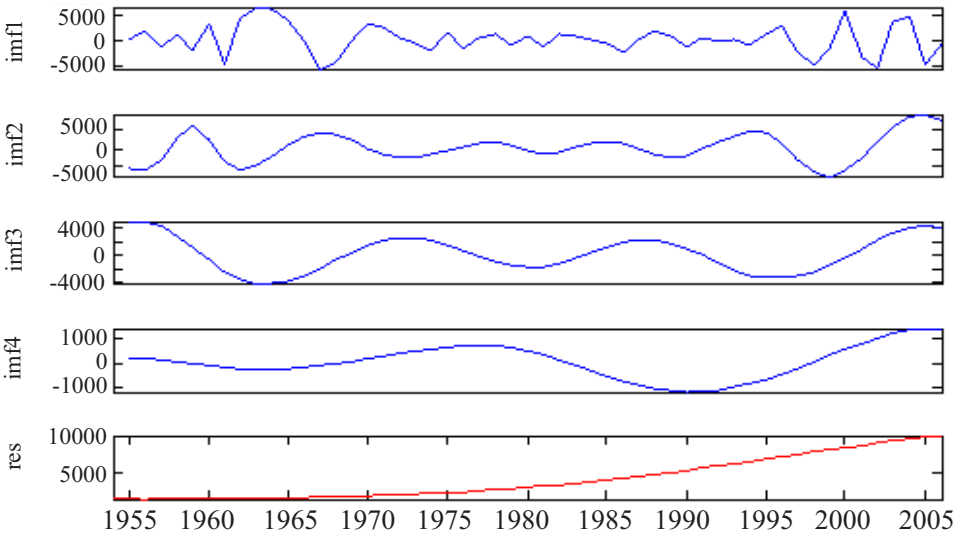


图 3 中国能源消费增长量变化的 IMF 分量及其趋势量  
Fig.3 IMF and residual trend res of change of the increase of energy consumption in China

图 2 与图 3 中每一个 IMF 分量信号特征的还原性很强, 变化规律符合自然信号非线性变化特点。其波动周期虽然不是严格的函数周期,但是具有相对稳定的变化准周期, 可将其求取平均周期, 并将每种尺度信号波动频率和振幅对原数据总体特征影响程度用方差贡献率表示出来(表 1、表 2)。

### 3 研究结果

#### 3.1 多尺度周期

IMF 的各个分量具有三个不同数量级相对差

异的特征,我国能源消费增量表现在频率和振幅的方差贡献率>30%,25%~15%,和<10%三个数量级。对应的分量分别是 IMF2,IMF1;IMF3,IMF4。而我国 GDP 增量表现在频率和振幅的方差贡献率>20%和<10%两个数量级。对应的分量分别是 IMF2;IMF4,IMF1;IMF3。

由图 2 可见, 我国 GDP 增量的 IMF1、IMF2、IMF3、IMF4 分量分别表示的是一个准 4 年、11 年、18 年、31 年周期的波动;从表 1 的各个 IMF 分量的方差贡献率来看,我国 GDP 增量以准 31 年周期为主。由图 3 可见,我国能源消费增量的 IMF1、IMF2、

IMF3、IMF4 分量分别表示的是一个准 4 年、10 年、18 年、27 年周期的波动,从表 1 的各个 IMF 分量的方差贡献率来看,我国能源消费增量以准 10 年周期为主。

从图 2 中我们可以看到,在短尺度上,改革开放以前我国经济增长缓慢,1978~1993 年经济处于复苏阶段,1993 年以后经济增长迅速。在中长尺度上,改革开放以后已能明显看到经济的增长。这说明改革开放后,我国由计划经济转变为市场经济,解放了生产力,使经济得到了快速的发展。从图 3 中可以看到,能源消费增量改革开放前较 GDP 增量波动明显。在短尺度上,1962~1967 年以及 1995 年以来这两个阶段波动振幅较大;在中尺度上,1964~1995 年这个阶段波动振幅较小;在长尺度上,1954~1991 年这个阶段波动振幅较小,此后波动幅度增大。而 2003~2006 年 IMF2、IMF3、IMF4 都处于一个大波峰,可以预测,2007 年以后我国能源消费增量将处于迅速下降阶段,并于 2012 年左右下降到波谷。

### 3.2 我国能源消费增长量与 GDP 增长量关系分析

能源是经济发展必需的生产要素和投入因子,经济发展是以能源为基础的,自然资源是经济发展

的物质基础。从经济学的角度分析,能源与经济增长的关系,一方面是经济增长对能源的依赖性,即能源促进了经济的增长;另一方面,能源的发展要以经济增长为前提,因为经济增长促成了能源的大规模开发和利用。那么我国的能源消费增量和 GDP 增量之间存在怎样的关系呢?二者的关系是否符合经济学的理论呢?笔者对 GDP 增量序列和能源消费增量序列进行 EMD 分解。通过 EMD 程序可以将多种因素影响后统计到的数据的变化趋势从多个尺度上明了地反映出来,进而根据现阶段二者关系的变化推测未来一段时间(短时间内推测较准)二者关系的状况。

从 EMD 提取的 GDP 增量变化和能源消费增量变化的 IMF 分量的周期来看,GDP 增量变化中的 4 年、11 年、18 年、31 年和能源消费增量变化中的 4 年、10 年、18 年、27 年基本吻合。这充分证明了 GDP 增长的周期性 with 能源消费增长的周期性是同步的。图 4、图 5 分别是将我国 GDP 增量波动的 IMF2、IMF3 与能源消费增量的 IMF2、IMF3 进行比较,由于改革开放以前我国实行的是计划经济,且受到了严重的政治影响,因此笔者重点研究改革开放后二者之间的关系。

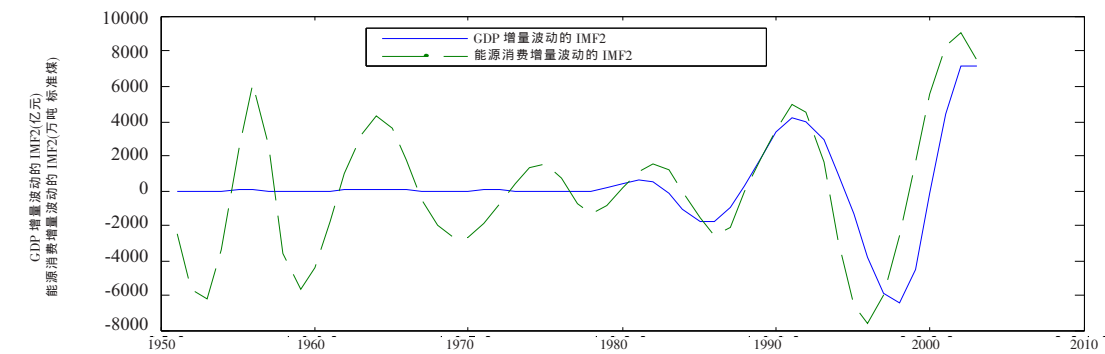


图 4 中国能源消费增量波动的 IMF2 分量与 GDP 增量的 IMF2 分量

Fig.4 IMF2 of changing of the increase of GDP and energy consumption in China

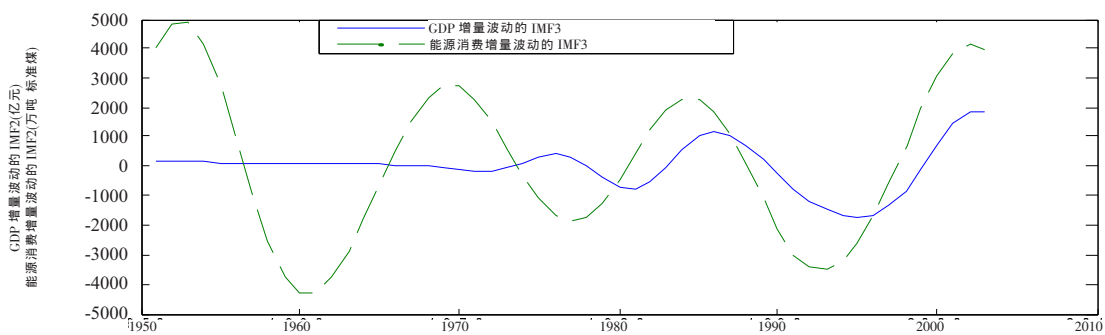


图 5 中国能源消费增量波动的 IMF3 分量与 GDP 增加量的 IMF3 分量

Fig.5 IMF3 of changing of the increase of GDP and energy consumption in China

从图 4 的中时间尺度上可以看到,能源消费增量波动的 IMF2 与 GDP 增量波动的 IMF2 的波形基本一致。1982~1993 年的 11 年内能源消费增量滞后于 GDP 增量,且 1982~1986 年这个阶段滞后性较明显,说明在这 11 年内表现为 GDP 的增长带动能源消费的增长。而 1994~2006 年的 12 年 GDP 增量滞后于能源消费增量,说明在这 12 年内表现为能源消费的增长带动 GDP 的增长;从中时间尺度上我们还可以看出二者的关系存在平均为 11 年左右的周期;从图 5 中长时间尺度上可以看到,改革开放以来 GDP 增量一直滞后于能源消费增量,且滞后的时间逐渐变短。表现为能源消费增长带动 GDP 的增长。而随着 GDP 的增长预计今后几年内能源消费增量的增长有可能滞后于 GDP 增量的增长。因此能源消费和 GDP 基本上是同向增长的,而且他们是相互依赖的,中长尺度上表现在能源的需求拉动了经济的发展,一段时间后当经济发展水平或规模达到一定程度,超出了能源供给或拉力,又表现为经济发展拉动能源需求,如此反复下去。而在大的尺度上,存在以 11 年左右为一个周期的小尺度波动规律。从大的尺度上预计今后一段时间总体上将表现为经济发展拉动能源需求。

## 4 结论和建议

通过对我国 GDP 增量波动和能源消费增量波动的 EMD 分解,发现我国 GDP 增量的波动周期为 4 年、11 年、18 年和 31 年;能源消费增量的波动周期也为 4 年、10 年、18 和 27 年,两者的波动周期基本吻合。这说明 GDP 增长的周期性与能源消费增长的周期性是同步的,且二者是同向增长的。将他们的 IMF 分量进行对比,发现能源消费和 GDP 二者是相互依赖的,中长尺度上表现在能源的需求拉动了经济的发展,经过一段时间后经济发展水平或规模达到一定程度超出能源供给或拉力,又表现为经济发展拉动能源需求,如此反复。而在大尺度上存在以 11 年左右为一个周期的小尺度波动规律。

能源是一个国家经济增长和社会发展的重要物质基础<sup>[17,18]</sup>,学者们也对我国能源安全状况和能源保障形势做了深入的研究<sup>[19,20]</sup>。能源消费是经济持续稳定增长的重要推动力,为经济发展提供了重要的物质保障。能源投入的增加会带来经济产出的增加,同样当经济总量扩大时对能源要素的引致也

会增加。但是这一结论带来的更深层次的含义可能更值得我们注意。今后要保持我国经济总量持续稳定增长,就必须有不断扩大的能源供应作为保障,除非能源的质量得到改善,否则能源总量必然随着经济总量的增长而增长,那么能源供应的短缺将对经济增长形成制约。由于我国今后一段时间内总体上表现为经济发展拉动能源需求。我国虽是个能源大国,但从长远来看能源供需形势仍然严峻<sup>[21]</sup>,因此应采取一些措施,如调整产业结构转变增长方式,构建资源节约型经济发展模式;加强科技在节能中的先导作用;建立能源预警安全机制;增强节能理念,合理使用能源,倡导科学的生产和生活方式,建设节能性社会等。而当在小尺度上表现为能源需求拉动经济发展时,应考虑到如若限制能源费将给我国经济增长造成影响。因此应千方百计增加能源供给,提高能源利用效率,开源和节流并举等措施。由于能源消费与经济增长之间的这种内在关系的存在,两者互相作用互相牵制,即使偶尔会偏离均衡状态,但在正确措施实施的前提下,无论在短期如何变化,在长期将趋于均衡。

## 参考文献

- [1] Jumbec C. Cointegration and causality between electricity consumption and GDP: Empirical evidence from Malawi. *Energy Economics*, 2004, 26: 61~68.
- [2] Masih A M M, Masih R. Energy consumption, real income and temporal causality: Results from a multi-country study based on cointegration and error-correction modeling techniques. *Energy Economics*, 1996, 18: 165~183.
- [3] Kraft J, Kraft A. On the relationship between energy and GNP. *Energy Development*, 1978, 3: 401~403.
- [4] Yu E S H, Choi J Y. The causal relationship between energy and GNP: An international comparison. *Journal of Energy and Development*, 1985, 10: 249~272.
- [5] A Safu-A Djaye J. The relationship between energy consumption, energy prices and economic growth: Time series evidence from Asian developing countries. *Energy Economics*, 2000, 22: 615~625.
- [6] Soytaş U, Sari R. Energy consumption and GDP: Causality relationship in G-7 countries and emerging markets. *Energy Economics*, 2003, 25: 33~37.
- [7] Paul S, Bahttacharya R N. Causality between energy consumption and economic growth in India: A note on conflicting Results. *Energy Economics*, 2004, (26): 977~983.
- [8] 薛艳,唐建荣. 江苏省经济增长与能源消费关系的实证

- 研究. 统计与信息论坛, 2007, 22(5): 91~96.
- [9] 中马超群, 储慧斌, 李科 等. 中国能源消费与经济增长的协整与误差校正模型研究. 系统工程, 2004, 22(10): 47~50.
- [10] 韩智勇, 魏一鸣, 焦建玲 等. 中国能源消费与经济增长的协整性与因果关系分析. 系统工程, 2004, 22 (12): 17~21.
- [11] 杨朝峰, 陈伟忠. 能源消费和经济增长: 基于中国的实证研究. 石油大学学报, 2005, 21(1): 18~22.
- [12] 彭志龙, 吴优, 武央 等. 我国能源消费与 GDP 增长关系研究. 天然气技术, 2007, 1(4): 1~5.
- [13] 林振山, 汪曙光. 近四百年北半球气温变化的分析: EMD 方法的应用. 热带气象学, 2004, 20(2): 90~96.
- [14] 熊学军, 郭炳火, 胡筱敏 等. EMD 方法和 HILBERT 谱分析法的应用与探讨. 黄渤海海洋, 2002, 20(2): 12~21.
- [15] 邓拥军, 王伟, 钱成春 等. EMD 方法及 Hilbert 变换中边界问题的处理. 科学通报, 2001, 46(3): 257~263.
- [16] 刘会玉, 林振山 等. 基于 EMD 的我国粮食生产波动多尺度分析. 自然资源学报, 2005, 20(5): 745~751.
- [17] 沈镭, 成升魁. 论国家资源安全及其保障战略. 自然资源学报, 2002, 17(4): 393~400.
- [18] Mark Thoma. Electrical enery usage over the business cycle. Energy Economics, 2004, 26(3): 463~485.
- [19] 蔡国田, 张雷. 中国能源安全研究进展. 地理科学进展, 2005, 24(6): 79~87.
- [20] 蔡国田, 张雷. 中国能源保障基本形势分析. 地理科学进展, 2006, 25(5): 57~66.
- [21] 李文彦. 21 世纪前期我国能源战略的若干问题. 经济地理, 2000, 20(1): 7~12.

## Analysis on Correlation of the Increase of GDP and Energy Consumption in China Based on Empirical Mode Decomposition Method

DU Jianli, LIN Zhenshan, ZHANG Zhenzhen, ZHANG Yanlong

(College of Geography Science, Nanjing Normal University, Nanjing 210046, China)

**Abstract:** The energy is the important material foundation of a country's economic growth, and social development, economic development and energy use are closely related. EMD method is used for the first time to comparatively analyze the correlation of the increase of energy consumption and that of GDP in China. This paper tries to find out the correlation of the fluctuations between them in new ways. It reveals the relationship between energy consumption and GDP. Consequently, this will provide us some reference to the long-term socio-economic planning, energy development strategy and the formulation of relevant policies and regulations. The result shows that the increase of GDP reveals the time-scale fluctuations of about 4 years, 11 years, 18 years and 31 years. The increase of energy consumption reveals the time-scale fluctuations of about 4 years, 10 years, 18 years and 27 years, and the cycles of them match basically. We make a comparative analysis of their IMFs, and discover that energy consumption and GDP are interdependent. The conclusion shows that the theory of economics, energy consumption can advance economic growth, and energy development should take economic growth as the prerequisite. The shortage of energy will constraint on economic development. Therefore, using every means to increase energy supply and improve efficiency of energy use would be a major task to ensure China's sustainable and stable economic development.

**Key words:** the increase of GDP; the increase of energy consumption; EMD; IMF